



ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DE ABRANTES

Mestrado em Engenharia Mecânica – Projeto e Produção
Mecânica

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

SENSORES PARA SOLOS AGRÍCOLAS – APLICAÇÃO PLANTAÇÃO KIWIS

Docente:
Doutor Bruno Chaparro

Discente:
Carlos Filipe Nº 10833

AGRADECIMENTOS

À minha Esposa, Filhos e Neto por todo o carinho, compreensão, paciência e confiança.

À minha Mãe por todos os valores, força e determinação, que me transmitiu, sempre foi a minha referência e inspiração. Dedico-lhes este trabalho, este apoio e referências foram fundamentais para superar todas de dificuldades.

Ao meu Primo Tiago Santos por toda a dedicação, amizade, incentivo, ajuda e ideias prestadas durante o desenvolvimento deste trabalho possibilitando soluções mais rápidas a muitos dos problemas encontrados.

À comunidade Arduíno por toda a ajuda disponibilizada, esta ajuda foi fundamental para solucionar alguns problemas encontrados.

Ao professor Bruno Chaparro, orientador deste trabalho, pela oportunidade e contribuição para o desenvolvimento deste trabalho.

Índice

1.	Introdução.....	4
1.1.	O recurso água	4
1.2.	A meteorologia	4
1.3.	Agricultura e a meteorologia	5
2.	Problema.....	6
2.1.	Objetivo Geral.....	6
2.2.	Objetivos específicos	6
3.	Proposta de solução	7
3.1.	Microcontrolador	7
3.2.	Arduíno	8
3.3.	Ethernet Shield.....	9
3.4.	Sensores	10
3.5.	Cata-vento	11
3.6.	Anemómetro	12
3.7.	Pluviómetro.....	13
3.8.	Sensor de Temperatura e Humidade DHT22.....	14
3.9.	RTC 3231.....	15
3.10.	Arduíno Mega	16
3.11.	Caudalímetro	17
4.	DESENVOLVIMENTO DO PROTOTIPO.....	17
4.1.	Requisitos pedidos pelo cliente.....	18
4.2.	Desenvolvimento de conceitos	18
4.2.1.	Soluções.....	18
4.2.2.	Fluxograma de funcionamento da estação	21
4.2.3.	Código Arduíno	23
4.2.4.	Desenvolvimento da placa de circuito impresso	23

5.	Montagem do protótipo	26
5.1.	Montagem final do protótipo	26
6.	Testes e resultados	26
7.	CONCLUSÃO	27
7.1.	Funcionalidades da estação implementadas:	27
7.2.	Sugestões para trabalhos futuros.....	27
8.	Anexos.....	29
8.1.	Anexo 1 - Sensor de Temperatura e Humidade DHT22.....	29
8.2.	Anexo 2 - RTC DS3231.....	30
8.3.	Anexo 3 - código maquinação da placa	31
8.4.	Anexo 4 Conjunto (Pluviómetro, anemómetro, cata-vento).....	32
8.5.	Anexo 5 sensor de caudal SI5004.....	34
9.	Bibliografia/ webgrafia.....	36

Índice de Figuras:

Figura 1:	Placa Arduino Mega 2560	9
Figura 2:	Ethernet shield	10
Figura 3:	conjunto Anemómetro, Pluviómetro e direção do vento	11
Figura 4:	Sensor de direção do vento Cata-vento.....	12
Figura 5:	Anemómetro	13
Figura 6:	Pluviómetro.....	14
Figura 7:	SensorDHT22	15
Figura 8:	Arduino Mega 2560 com seus principais componentes	16
Figura 9:	Caudalímetro IFM SI5004	17
Figura 10:	Esquema de funcionamento da estação meteorológica.....	17
Figura 11:	Ficheiro de registos diário em formatoAAMMDD.csv	21

Figura 12: Pagina Web	23
Figura 13: Esquema do circuito elétrico da placa.....	24
Figura 14: Circuito Pull Up	25
Figura 15: Visualização 3D da placa.....	25
Figura 16: Desenho em CAD das pistas do circuito impresso para maquinação	26
Figura 17: Estação meteorológica em fase de testes, em que 1- Arduino Mega e shield Ethernete, 2- Placa de circuitos, 3- Regulador de tensão, 4-Display, 5-Anemómetro, 6- Pluviómetro, 7- DHT22, 8- RTC, 9- Caudalimetro, 10- led que simula a válvula elétrica.....	28

1. INTRODUÇÃO

Constituindo o recurso água um dos principais fatores de competitividade do sector agrícola assume especial importância a qualidade da sua gestão. Assim, sendo o regadio um dos motores de desenvolvimento e competitividade das zonas rurais, ele deve ser promovido de uma forma sustentável, as informações meteorológicas e climáticas são fundamentais pra promover o uso eficiente da água no regadio. Visando a preservação deste recurso, este projeto tem como objetivo a instalação de um sistema de recolha de dados meteorológicos para promover a rega automática de uma plantação de Kiwis.

1.1. O RECURSO ÁGUA

A água é indissociável da vida na Terra, é a substância que existe em maior quantidade nos seres vivos da qual dependem absolutamente para viver. A Terra possui 1,4 milhões de quilómetros cúbicos de água, mas apenas 2,5% desse total é água doce, Daí a necessidade de preservação dos recursos hídricos. Em todo mundo, 10% de água é utilizada para o abastecimento público, 23% para a indústria e 67% para a agricultura. A água constituiu um fator de desenvolvimento das civilizações, com frequência motivo de disputas e mesmo de guerras. Em muitos casos o declínio de sociedades e civilizações tem resultado da inabilidade desses povos em dominar a sua utilização, pelo que a água, seu uso e gestão constituem preocupação constante e crescente dos decisores políticos. [4]

A Europa, na sua recente organização comunitária, vem refletindo de uma forma integrada, sobre as orientações estratégicas a conferir à política de utilização da água.

O desafio que se coloca é pois o de satisfazer as necessidades de água da sociedade atual sem comprometer a vida das gerações futuras, também, satisfazer as suas próprias necessidades. [8]

1.2. A METEOROLOGIA

A meteorologia é o ramo da ciência que estuda os fenómenos físicos da atmosfera (meteoros), (do grego meteoros, que significa elevado no ar, e logos, que significa estudo) é a ciência que estuda as condições atmosféricas em dado instante, ou seja, as condições do tempo. A atmosfera é um sistema dinâmico, em contínuo movimento, resultado da variação das forças que atuam na massa

de ar. As condições atmosféricas resultam dessem movimento atmosférico. A previsão do tempo e a climatologia é parte mais visível e conhecida da meteorologia e que ganha cada vez mais espaço na tomada de decisões operacionais, principalmente nas atividades agrícolas cotidianas. [1]

Os dados meteorológicos são descritos por meio de grandezas físicas e outros conceitos denominados de elementos meteorológicos, os mais comuns são: [2]

- Radiação solar e terrestre;
- Temperatura do ar;
- Pressão;
- Vento;
- Humidade;
- Nuvens;
- Meteoros.

1.3. AGRICULTURA E A METEOROLOGIA

A agricultura é uma das atividades económicas mais dependentes das condições meteorológicas. Estas afetam não só o metabolismo das plantas, como também as atividades no campo. De acordo com Petr (1990) e Fageria (1992), citados por Hoogenboom (2000), ao redor de 80% da variabilidade da produção agrícola no mundo é resultado das condições meteorológicas durante o ciclo de cultivo, principalmente as culturas de sequeiro. A ocorrência de pragas e doenças também depende das condições meteorológicas afetando não só a relação das plantas com microrganismos, insetos, fungos e bactérias, como também muitas das práticas agrícolas, a preparação do solo, a sementeira, a adubação, a irrigação, as pulverizações, a colheita, entre outras.

As informações meteorológicas e climáticas são fundamentais para a sustentabilidade de atividade a agrícola.

Na agricultura as principais variáveis meteorológicas que afetam o crescimento, o desenvolvimento e produtividade das culturas são a pluviosidade, a temperatura do ar, a radiação solar, o fotoperíodo, a humidade do ar e do solo e a velocidade do vento. [3]

2. PROBLEMA

Irrigação é um processo de fornecimento artificial de água às plantas, em quantidade suficiente e no momento certo, focado na produtividade, sobrevivência e vitalidade das plantas.

Portanto, irrigar não é simplesmente fornecer água sem nenhum critério, doses excessivas trazem problemas às raízes das plantas (apodrecimento, lavagem de nutrientes), doses insuficientes prejudicam o desenvolvimento e a produtividade (redução do metabolismo). Uma irrigação eficiente tem que repor as condições ideais de humidade no solo, garantindo à planta o suprimento necessário para um bom desenvolvimento ou seja regar apenas em função das necessidades da planta.

A irrigação automatizada é uma excelente solução para garantir as necessidades de água das plantas. Basicamente, é um sistema programado em função de dados recolhidos do ar e do solo, e em função desses dados fornecer a água suficiente para suprir as necessidades específicas de cada área e tipo de vegetação. Estes sistemas distribuem a água mais uniformemente, minimizando o desperdício, promovendo assim uma gestão mais eficiente da água e libertando o agricultor da irrigação manual.

O custo inerente aos sistemas automatizados de rega reduz o acesso dos pequenos e médios agricultores a esta tecnologia. A utilização de sistemas de rega tradicionais reduz não só competitividade como a qualidade do produto final.

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento e implementação de um sistema de recolha de dados meteorológicos do ar e solo, para uso num sistema de irrigação inteligente, fazendo uso de uma plataforma de baixo custo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recolha bibliográfica sobre estações meteorológicas e sistemas de irrigação automatizados, sensores e microcontroladores;
- Recolha de dados dos sensores como:
 - Velocidade e direção do vento;
 - Temperatura e humidade do ar;

- Pluviosidade;
 - Volume de água utilizado na rega.
- Desenvolvimento do *software* para a estação de recolha dos dados meteorológicos e do solo. Após recolhidos estes dados serão guardados em cartão de memória e disponibilizados para consulta e monitorização através de display LCD e conexão de Ethernet para utilização num sistema de rega inteligente;
- Construção de um protótipo funcional;

3. PROPOSTA DE SOLUÇÃO

- Microcontrolador Arduíno Mega 2560;
- *Ethernet Shield*;
- Anemómetro;
- Pluviómetro;
- Cata-vento;
- Sensor de humidade e temperatura do ar DHT22;

3.1. MICROCONTROLADOR

Um microcontrolador é basicamente um pequeno computador, porém com algumas diferenças. Um computador de uso comum é destinado a uso diversificado como, por exemplo, um computador de mesa ou um servidor de aplicação. Um microcontrolador é um pequeno computador de tamanho reduzido, capaz de controlar máquinas e equipamentos através de programas específicos, sendo na maioria das vezes programados para execução de uma determinada atividade.

Um microcontrolador possui basicamente a mesma arquitetura de blocos de um computador, ou seja, possui CPU (*Central Processing Unit*), memória e dispositivos de entrada e saída de informações ou dados. Reúnem, num único circuito integrado, diversos componentes de um sistema. Em outras palavras, podemos afirmar que um microcontrolador é um pequeno microcomputador integrado num único chip. Por se tratar de um componente programável, é bem versátil, permitindo uma grande diversidade de aplicações.

Atualmente a utilização de microcontroladores é cada vez mais comum, eles passaram a integrar a maioria dos dispositivos eletrônicos que estão no cotidiano das pessoas, por exemplo, micro-ondas, automóveis, televisores, câmaras digitais, telemóveis, impressoras laser, entre outros.

3.2. ARDUÍNO

Arduíno, é uma plataforma de prototipagem eletrónica de *hardware livre* (*open source*) projetada numa única placa constituída por um microcontrolador Atmel AVR de 8 bits, pinos digitais e analógicos de entrada e saída, porta Universal Serial Bus (USB) para conexão com computadores. Este microcontrolador possui várias características como: uma linguagem de programação padrão a qual tem origem em Wiring, e é essencialmente C/C++, compatibilidade com vários sistemas operativos (Microsoft Windows, Mac OS X e Linux), possibilidade de ser combinado com outras placas criando extensões chamadas de *shields*, o que lhe amplia as possibilidades de recursos de atuação como: leitura de sensores, dispositivos de visualização, atuadores.

São acessíveis, de baixo custo, flexíveis e fáceis de se usar por artistas e amadores. Principalmente para aqueles que não teriam alcance aos controladores mais sofisticados e de ferramentas mais complexas.

O ARDUINO é uma das outras plataformas presentes no mercado que possui as seguintes características:

- Multiplataforma, podendo ser executado em Windows, Macintosh e Linux;
- Programado por porta de comunicação USB dispensando normalmente uma fonte de alimentação;
- Possui hardware e software open-source;
- Hardware de baixo custo;
- Grande comunidade ativa de utilizadores e programadores;
- Ambiente educacional, ideal para iniciantes que desejam resultados rápidos;
- Plataforma baseada em Atmel da AVR (ATMega168);
- Oferece uma IDE e bibliotecas de programação de alto nível;
- Programado em C/C++;
- Transferência de firmware via USB;
- MCU com bootloader.

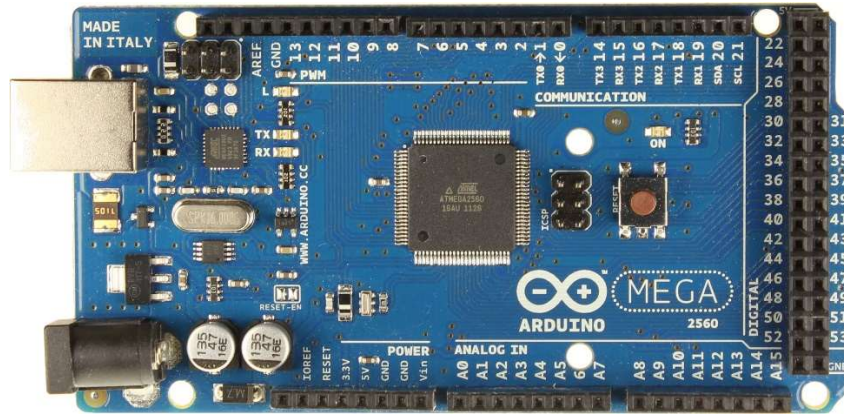


Figura 1: Placa Arduino Mega 2560

3.3. ETHERNET SHIELD

Esta placa tem como principal objetivo fornecer ao Arduino a possibilidade de se conectar a uma rede local ou de internet.

Baseia-se no chip Ethernet Wiznet W5100. O *shield* oferece suporte a rede IP utilizando tanto o protocolo TCP como UDP, suportando até quatro conexões de *socket* simultâneas. O *shield* possui um *slot* para cartão micro-SD integrado, que pode ser usado para armazenar arquivos para servir através da rede, sendo compatível com todas as placas Arduino.

O *shield* possui a possibilidade de fornecimento de PoE (Power over Ethernet) através de sua conexão RJ45. O *Power over Ethernet* serve para fazer a alimentação de equipamentos através do cabo de rede. Esta alimentação suporta equipamentos com baixa potência (típico <20W).

Conforme a Figura 2 o *Ethernet Shield* é apresentado com seus principais componentes: (1) conector RJ45; (2) chip W5100 do fabricante WiZnet; (3) *slot* para cartão de memória micro SD; e (4) botão de *reset* (executa a mesma função de *reset* da placa principal).

O *shield* contém uma série de LEDs informativos:

- PWR: Indica que a placa e escudo são alimentados
- -LINK: Indica a presença de uma ligação de rede e pisca quando a blindagem transmite ou recebe dados
- FULLD: Indica que a conexão de rede é *full duplex*
- 100m: Indica a presença de uma conexão de rede de 100 Mb/ s (em oposição a 10 Mb/s)
- RX: Pisca quando o *shield* recebe dados

- TX: Pisca quando o *shield* envia dados
- COLL: Pisca quando colisões de rede são detetadas

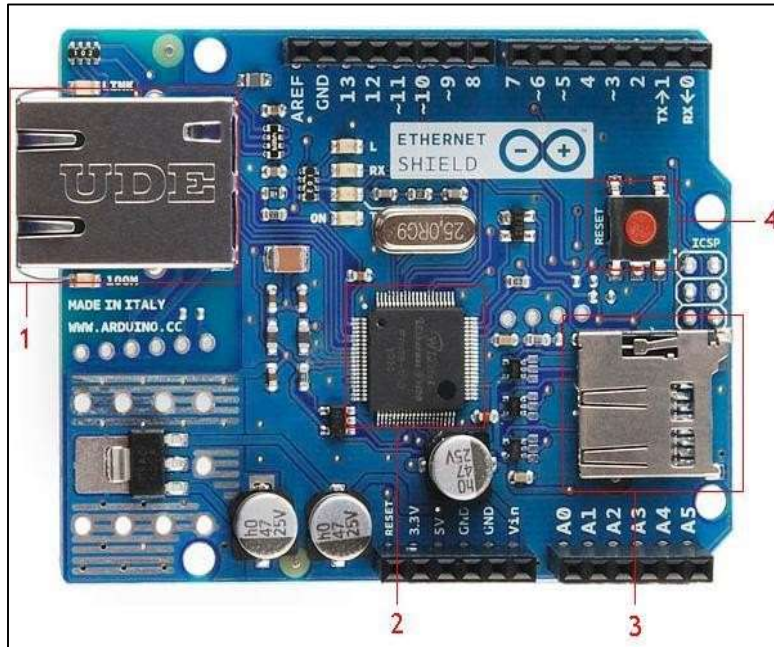


Figura 2: Ethernet shield

3.4. SENSORES

Os sensores são dispositivos capazes de transformar informações de grandezas físicas de um ambiente em informações de grandezas lógicas, para que seja possível assumi-la como uma entrada em um sistema. Desta forma este sistema apresentará uma representação fiel através de grandezas lógicas do conhecimento sensorial deste ambiente.

Assim como num ser humano, os sensores são de extrema importância num sistema computacional. É desta forma que os autores Santos, Júnior e Barbosa (2008) relatam em seu artigo científico, onde descrevem que os sensores exercem função de extrema importância em um sistema autônomo, pois extraem do ambiente as informações que o sistema precisa para uma tomada de decisão a partir de uma informação já processada.

Há uma grande diversidade de sensores atualmente disponíveis no mercado, de acordo com cada tipo de informação a ser medida ou monitorizada.

Os diversos sensores podem ser de tipos visuais de brilho e cor, de tato ou de força, detetores de posição ou direção, velocidade, vibração, sensores acústicos, de olfato e paladar, de medição de temperatura, e muitos outros.



Figura 3: conjunto Anemómetro, Pluviómetro e direção do vento

3.5. CATA-VENTO

Este dispositivo é utilizado para indicar a direção do vento. O equipamento é composto na maioria das vezes por uma placa fixa a uma barra horizontal que possui rotação livre em torno de um eixo conforme apresentado na Figura 4. Esta placa é empurrada pelo vento ficando orientada para a direção correspondente ao fluxo do mesmo, obtendo-se assim a direção do vento.



Figura 4: Sensor de direção do vento Cata-vento

3.6. ANEMÓMETRO

O anemómetro consiste num equipamento meteorológico utilizado de medir a velocidade do vento. Existem vários tipos de anemómetros, as rotacionais, os de tubo de pressão, os de deflexão, os termoelétricos e os ultrassónicos.



Figura 5: Anemómetro

3.7. PLUVIÓMETRO

O pluviômetro consiste num equipamento meteorológico utilizado para medir a quantidade de chuva que precipita sobre uma determinada área. Existem vários tipos de pluviômetros. O escolhido foi o automático em que o funcionamento é composto por um sensor de precipitação tipo balança Figura 6, que se move e aciona um interruptor magnético *switch* que gera impulsos que são transmitidos ao microcontrolador. O índice pluviométrico em milímetros representa o volume em litros de água que caíram numa área de um metro quadrado.



Figura 6: Pluviômetro

3.8. SENSOR DE TEMPERATURA E HUMIDADE DHT22

O sensor DHT 22 utiliza uma tecnologia de aquisição exclusiva de sinal digital para temperatura e humidade, associado a um microcontrolador de 8 bits. Cada sensor é calibrado em laboratório, e os coeficientes de calibração são guardados na memória OTP, o que assegura uma fiabilidade e estabilidade a longo prazo. A Figura 7 mostra o sensor DHT22 identificando os pinos para ligação.

O interface série de um único fio, com o seu tamanho reduzido, o baixo consumo de energia, a transmissão do sinal a mais de 20 metros e aliado ao seu baixo custo apresentam-no como a melhor escolha para várias aplicações.

As características técnicas do sensor DHT11, podem ser consultadas no anexo 1.

Podendo medir a temperatura nas escalas de -40 a 125° graus celsius e a humidade do ar nas faixas de 0 a 100%, sendo compatível com vários microcontroladores: Arduino, ARM, AVR, PIC e outras.

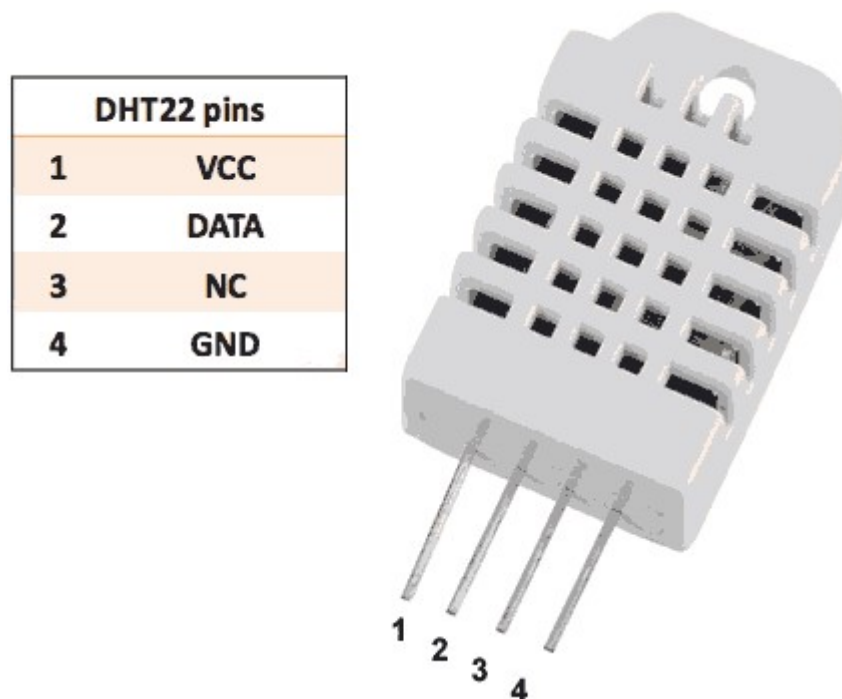


Figura 7: SensorDHT22

3.9. RTC 3231

O RTC 3231 é um relógio de tempo real de baixo custo, mas extremamente preciso (RTC) com interface de comunicação I2C, com a temperatura compensada, oscilador de cristal eletrônico integrado (TCXO) . O dispositivo possui uma bateria, que mantém uma rigorosa pontualidade quando a energia principal do dispositivo é interrompida. A integração do oscilador de cristal aumenta a exatidão a longo prazo do dispositivo. O DS3231 está disponível em faixas de temperatura comerciais e industriais. O RTC mantém segundos, minutos, horas, dia, data, mês e informações ano. A data no final do mês é automaticamente ajustada nos meses com menos de 31 dias, incluindo correções para os anos bissextos. O relógio opera tanto no formato de 24 horas ou de 12 horas com um indicador AM / PM, dois alarmes programáveis e uma saída de onda quadrada programável. Os dados são transferidos via uma interface série através de um barramento bidirecional I2C. [7]

As características técnicas do sensor RTC 3231, podem ser consultadas no anexo 2.

3.10. ARDUÍNO MEGA

O Arduino Mega 2560 baseia-se no microcontrolador ATmega 2560 e é uma atualização do Arduino Mega 1280, a principal diferença relativamente à versão anterior é a capacidade de memória que passou para o dobro, passando a dispor de 256Kb.

É composto por 54 pinos digitais de entrada/saída, 16 entradas analógicas, 4 portas de comunicação série (UARTs), um oscilador de cristal de 16 MHz, uma ligação USB, uma entrada de alimentação, uma ligação ICSP e um botão de *reset*, como representado na Figura 8. A sua utilização não difere das versões anteriores, basta um cabo de ligação USB e o *software* de desenvolvimento para poder utilizar-se. Esta placa é compatível com a maioria dos *shields*.

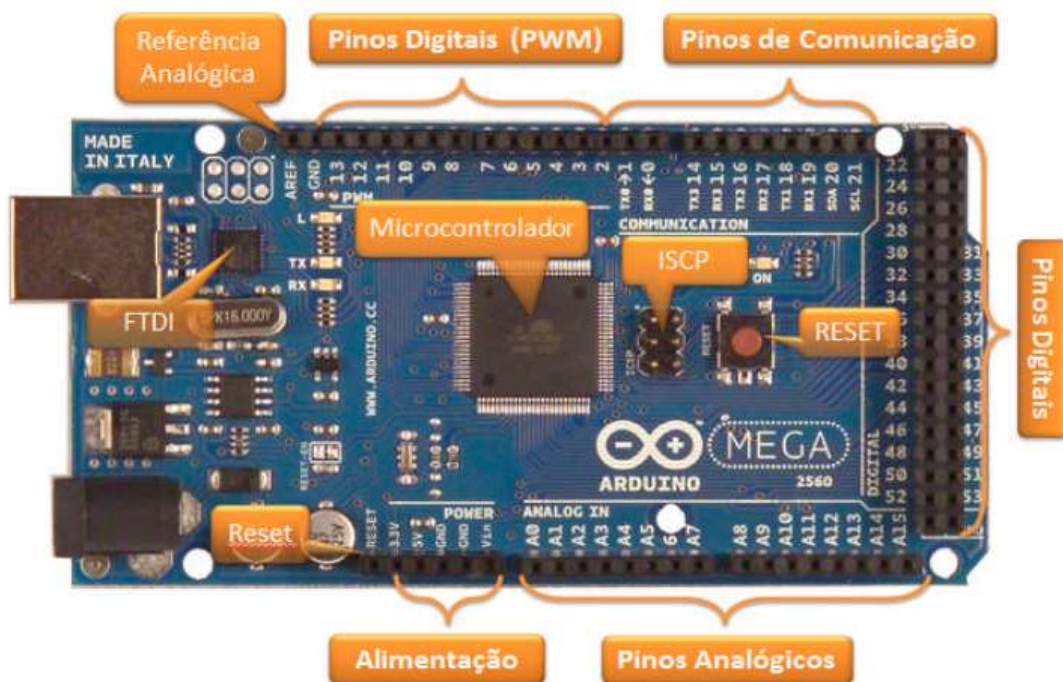


Figura 8: Arduino Mega 2560 com seus principais componentes

3.11. CAUDALIMETRO

O caudalimetro é um dispositivo concebido para medir velocidade de escoamento de um fluido, neste caso a água. O sensor usado é da marca IFM modelo SI5004 Figura 9, cujas características podem ser consultadas no Anexo 4.



Figura 9: Caudalimetro IFM SI5004

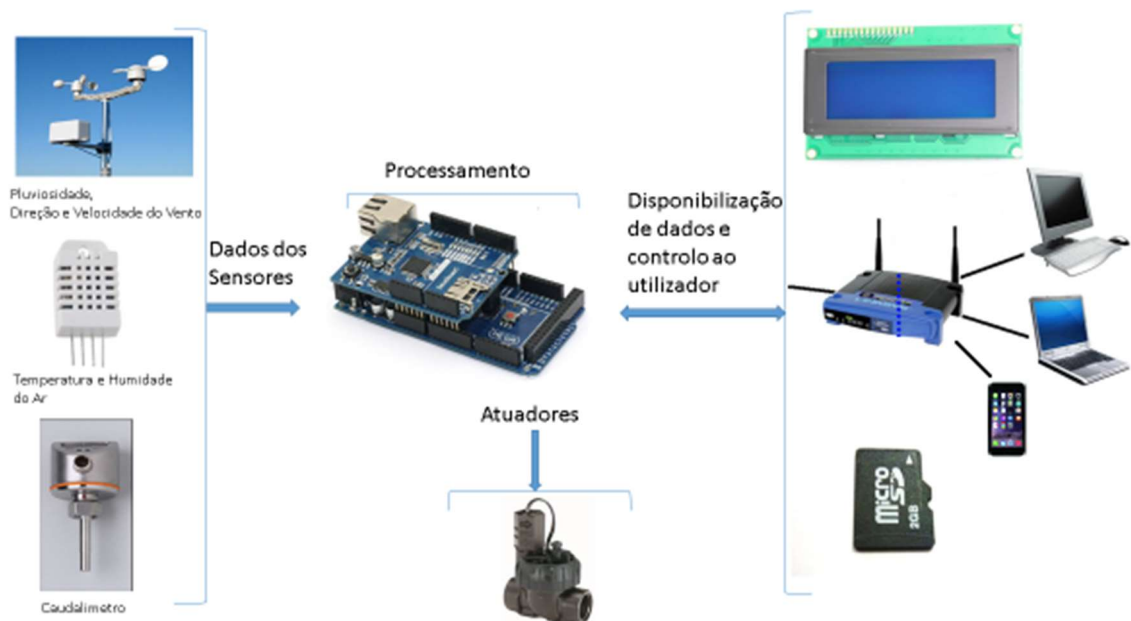


Figura 10: Esquema de funcionamento da estação meteorológica

4. DESENVOLVIMENTO DO PROTOTIPO

Neste capítulo mostra-se o desenvolvimento da solução proposta adaptada às necessidades do cliente.

4.1. REQUISITOS PEDIDOS PELO CLIENTE

- ❖ Aquisição dos dados dos sensores:
 - Temperatura e Humidade do ar,
 - Velocidade e Direção do Vento,
 - Rajada de vento,
 - Pluviosidade,
 - Volume de água debitado na rega,
- ❖ Gravação dos dados recolhidos em cartão SD,
- ❖ Data e Horas,
- ❖ Conexão Ethernet:
 - Monitorização e consulta dos dados recolhidos dos sensores,
 - Controlo da válvula de rega,
- ❖ Display:
 - Data e Hora
 - Monitorização dos dados recolhidos dos sensores,

4.2. DESENVOLVIMENTO DE CONCEITOS

- ❖ Definição do intervalo de tempo para recolha de dados dos sensores,
- ❖ Definição do intervalo de tempo para escrita dos dados no cartão SD,
- ❖ Definição da variáveis necessárias,
- ❖ Definição do ficheiro, para os registos de dados dos sensores,
- ❖ Garantir o acerto automático data e hora,
- ❖ Ligação Ethernet,

4.2.1. Soluções

O intervalo de tempo para recolha de dados foi definido em função do compromisso entre a necessidade da recolha e tratamento dos dados, e gestão dos recursos do Arduino.

Inicialmente definiu-se um intervalo para cada sensor, o que posteriormente se alterou para um único intervalo para todos os sensores para libertar recursos do Arduino. Definiu-se um intervalo de três segundos para se garantir um conjunto de recolhas da velocidade do vento em um minuto. Posteriormente estas recolhas são necessárias para calcular uma rajada de vento.

O intervalo de tempo para escrita no cartão foi definido em função do compromisso entre a coerência dos dados apresentados e a dimensão do ficheiro diário criado no cartão, de forma a garantir uma lista de ficheiros diários que permita criar um histórico. Verificou-se que a

velocidade do vento é a variável que mais mutação sofre em função do tempo, e que o Arduino apenas reconhece 2 GB de cartão SD. Foi definido um intervalo de escrita de dez segundos, criando um ficheiro diário com 333KB Figura 11, garantindo uma boa gestão do cartão de memória a longo prazo. Como posteriormente será referido, a variável velocidade do vento tem de ser armazenada em memória, para cálculo da última rajada, resultando que qualquer situação anómala é tratada nesta nova variável, garantindo a coerência dos dados escritos.

Variáveis Principais:

- *humidade*, (variável para registo da humidade do ar)
- *temperatura*, (variável para registo da temperatura do ar)
- *velVento*, (variável pra registo da velocidade do vento)
- *dirVento* (variável para registo da direção do vento)
- *precipitação* (variável para registo da precipitação)
- *Caudal* (variável para registo da água utilizada na rega)
- *ultimarajada*, (variável para registo de anomalias na velocidade do vento)
- *nome_Reg_file[15]*, (Criação do ficheiro de registos com formato AAMMDD.csv)
- *Data e Hora*

As variáveis para registo da humidade e temperatura do ar, foram tratadas utilizando a biblioteca e exemplo disponibilizado pelo fabricante do sensor DHT22, efetuando as necessárias adaptações à integração no código da estação meteorológica.

Os sensores da velocidade do vento e precipitação funcionam com interruptores magnéticos, ambas as variáveis foram tratadas implementando contadores de interrupção das respetivas portas, realizando os cálculos segundo as instruções disponibilizadas pelo fornecedor do equipamento.

O sensor da direção do vento cria uma variação da tensão elétrica em função da direção do vento, o fornecedor do equipamento disponibiliza uma tabela de equivalências para 16 direções Anexo 4. Foram utilizadas 8 direções associadas a um array unidimensional de 8 posições de memória. Não foi utilizada a totalidade da capacidade de resolução de direção de vento para poupar em termos de processamento e memória os recursos do arduino.

O sensor de caudal provoca uma variação de corrente de 4 a 22 mA (nos seus terminais em função da velocidade do caudal), foi necessário criar um circuito elétrico com uma resistência variável para converter a variação de corrente em variação de tensão. Segundo o manual disponibilizado pelo fabricante Anexo 5, o sensor lê velocidades de caudal entre (5 a 100 cm/s), foi utilizada uma

função (MAP) para converter os valores lidos na porta analógica para o intervalo do caudal (5 a 100m/s).

Para calcular a última rajada de vento, foi necessário procurar na literatura uma definição e modelo matemático. A definição mais comum “*um aumento brusco e de curta duração da velocidade do vento*”. Definiu-se um modelo matemático que calcula a média da velocidade do vento das últimas 600 leituras (30minutos) e se ocorrer um aumento da velocidade do vento superior em 10Km/hora a esta média, é registado como rajada de vento.

A criação do ficheiro de registos apresentou alguns problemas. Com um ficheiro único (adotado na primeira versão) implicava um crescimento contínuo do mesmo, bem como uma gestão e tratamento difícil dos dados gravados. A estratégia definida foi criar um ficheiro diário, atribuindo ao mesmo a data como nome, ficando com o formato AAMMDD.csv. Às zero horas o sistema cria um novo ficheiro e reinicia a zero as variáveis (*precipitação e Caudal*) Figura 11.

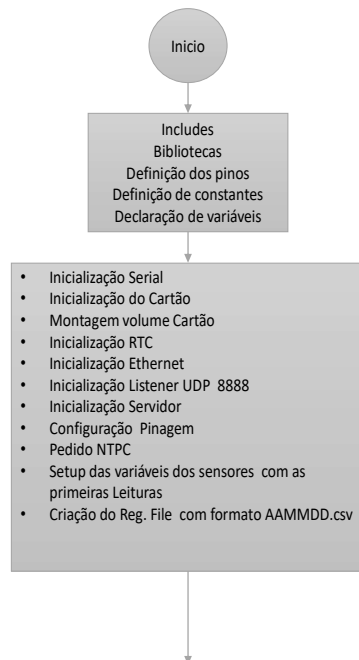
A data e hora é a variável responsável pela correta identificação dos dados gravados, O RTC 3231 é o componente que disponibiliza a hora e data, foi escolhido devido a possuir uma elevada precisão. Todos os intervalos entre leitura e escrita também passam a ser calculados (face à primeira versão) com base no tempo do RTC em segundos, para evitar o *overflow* da função *millis()* – *Função que indica o total de milissegundos desde 1 Jan 1970*.

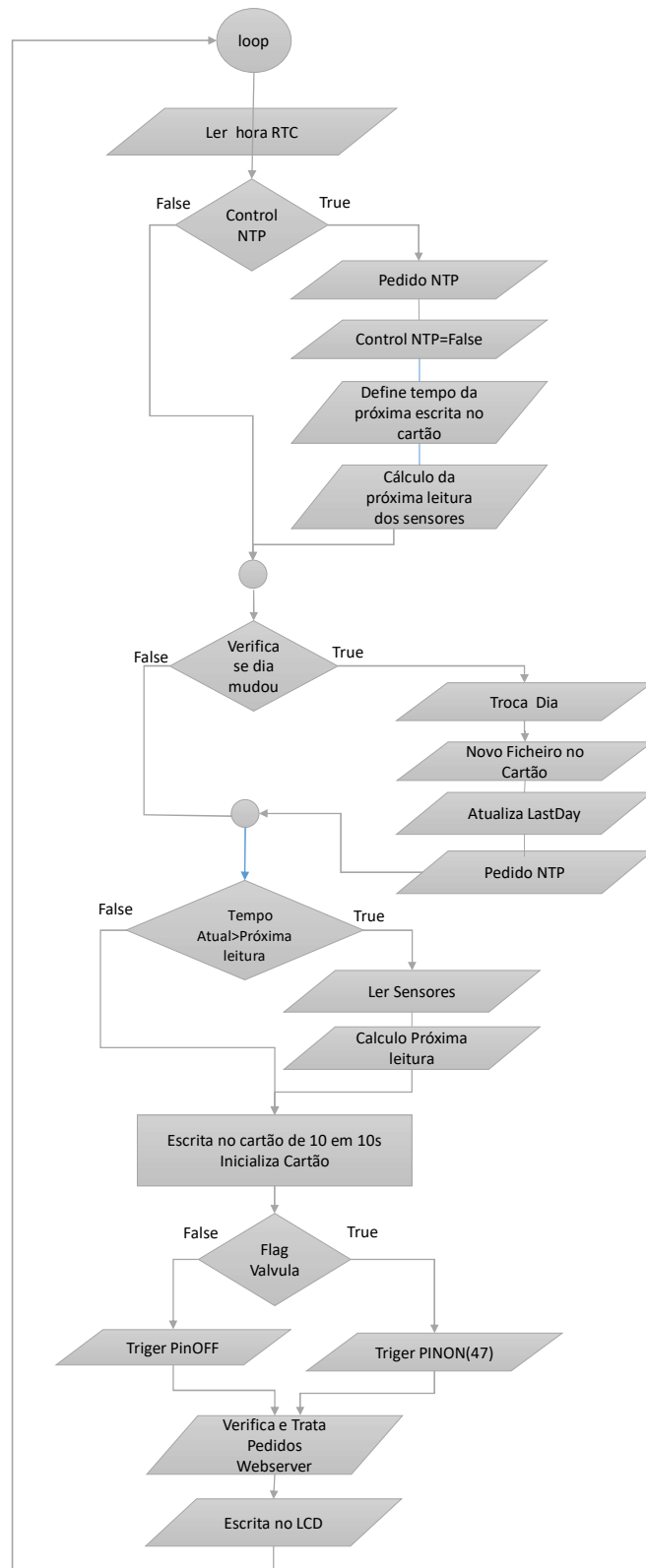
Uma falha do RTC, que tem como consequência a perda da data, comprometeria todos os dados recolhidos após essa falha. Para evitar uma perda de Data e Hora, às zero Horas e sempre que o Arduíno reinicia é feito um Pedido de NTP a um servidor de Internet para atualizar a Data e Hora. Como o serviço NTP não disponibiliza a atualização para Horário de Inverno e Verão, foi necessário criar uma função que identifique o intervalo entre o último Domingo de Outubro e o último Domingo de Março retirando uma Hora a este intervalo de tempo. Como a estação estará permanentemente ligada à Internet garante-se o acerto da Data e Hora.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Hora Registro	Temp(°C)	Humidade(%)	Dir.Vento	Vel.Vento(K/h)	Precipitação(mm)	Rajada Vento(Km/h)
2	00:00:00	20.40	94.20	S	0.00	0.00	0.00
3	00:00:10	20.40	94.30	S	0.00	0.00	0.00
4	00:00:20	20.40	94.30	S	0.00	0.00	0.00
5	00:00:30	20.40	94.30	S	0.00	0.00	0.00
6	00:00:40	20.40	94.30	SE	0.00	0.00	0.00
7	00:00:50	20.40	94.30	S	0.00	0.00	0.00
8	00:01:00	20.40	94.30	S	0.00	0.00	0.00
9	00:01:10	20.40	94.30	S	0.00	0.00	0.00
10	00:01:20	20.40	94.30	S	0.00	0.00	0.00
11	00:01:30	20.40	94.30	S	0.00	0.00	0.00
12	00:01:40	20.40	94.30	S	0.00	0.00	0.00
13	00:01:50	20.40	94.30	SE	0.00	0.00	0.00
14	00:02:00	20.40	94.30	S	0.00	0.00	0.00
15	00:02:10	20.40	94.30	S	0.00	0.00	0.00
16	00:02:20	20.40	94.30	S	0.00	0.00	0.00
17	00:02:30	20.40	94.30	S	0.00	0.00	0.00
18	00:02:40	20.40	94.30	S	0.00	0.00	0.00
19	00:02:50	20.40	94.30	S	0.00	0.00	0.00
20	00:03:00	20.40	94.30	S	0.00	0.00	0.00
21	00:03:10	20.40	94.30	S	0.00	0.00	0.00
22	00:03:20	20.40	94.30	S	0.00	0.00	0.00
23	00:03:30	20.40	94.30	S	0.00	0.00	0.00

Figura 11: Ficheiro de registos diário em formato AAMMDD.csv

4.2.2. Fluxograma de funcionamento da estação





4.2.3. Código Arduino

O *software* da estação meteorológica consiste num algoritmo desenvolvido, compilado e gravado para o microcontrolador via USB, utilizando a plataforma de desenvolvimento IDE do Arduino, esta plataforma utiliza a linguagem de programação *Wiring* (baseada em C/C++).

Em conjunto com linguagem HTML, foram desenvolvidas funcionalidades para efetuar a recolha dos dados provenientes dos sensores, efetuar a estes dados os tratamentos e cálculos necessários, gravando estas informações em ficheiros de registo diários no cartão de memória. Foi criado também um servidor web e uma página web para monitorização dos valores correntes, consulta da lista de ficheiros de registos e controlo da válvula de rega.

O código desenvolvido pode ser consultado no Anexo 5 e a página web na Figura 12.

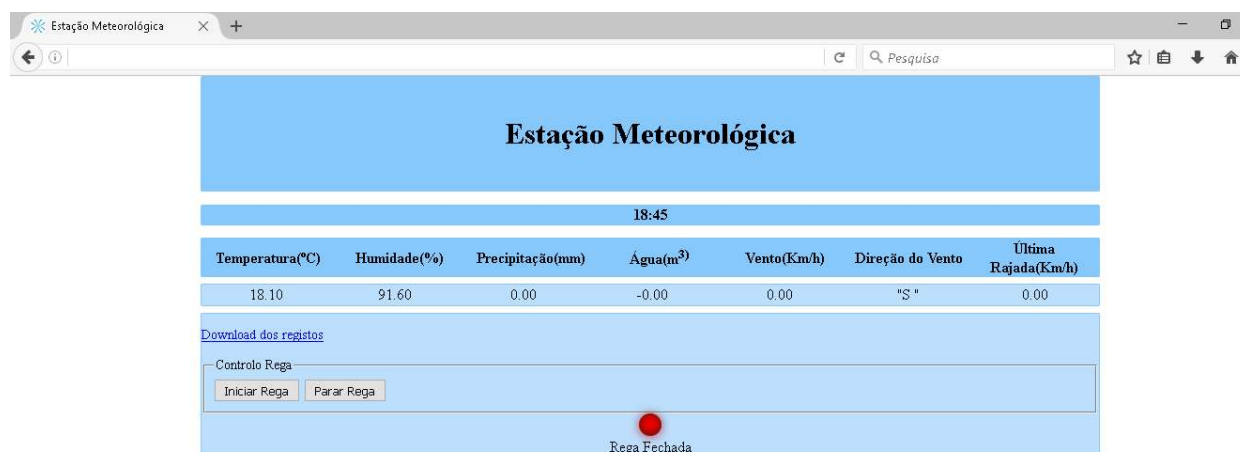


Figura 12: Página Web

4.2.4. Desenvolvimento da placa de circuito impresso

A construção da placa de circuito impresso do protótipo foi uma das etapas finais do desenvolvimento do projeto. Os desenhos das placas da estação foram feitos recorrendo *software* Proteus. Este é um *software* para simulação de circuitos eletrônicos (ISIS) e *design* do circuito impresso (ARES).

A placa elétrica desenvolvida é constituída por 5 circuitos *Pull Up* e um circuito conversor de variação de corrente em variação de tensão.

Os circuitos *Pull Up* tem a função de garantir sempre o estado do nível lógico de uma porta digital em (0 ou 1), este circuito como se pode verificar na Figura 14 resume-se a um resistor 10K, que quando a chave estiver aberta garante um valor elevado na porta e quando a chave é fechada leva o nível a zero. Deve-se referir que o Arduino possui internamente estes circuitos, e que podem ser ativados via programação.

O circuito conversor resume-se a um resistor (R7 doe esquema) de 220Ω entre os terminais do caudalimetro, convertendo a variação de corrente de 4 a 22 mA que corresponde ao intervalo de caudal (5 a 100cm/s) em a variação de tensão, necessária para ser lida na porta analógica do Arduino. A Figura 13 representa o esquema do circuito elétrico da placa e a Figura 15 uma visualização tridimensional da placa com todos os componentes.

Para a construção das pistas da placa optou-se por fazer uma maquinação em fresadora CNC conforme desenho CAD representado na Figura 16. Para a realização da maquinação foi necessário desenvolver o respetivo código de maquinação que pode ser consultado no Anexo 3.

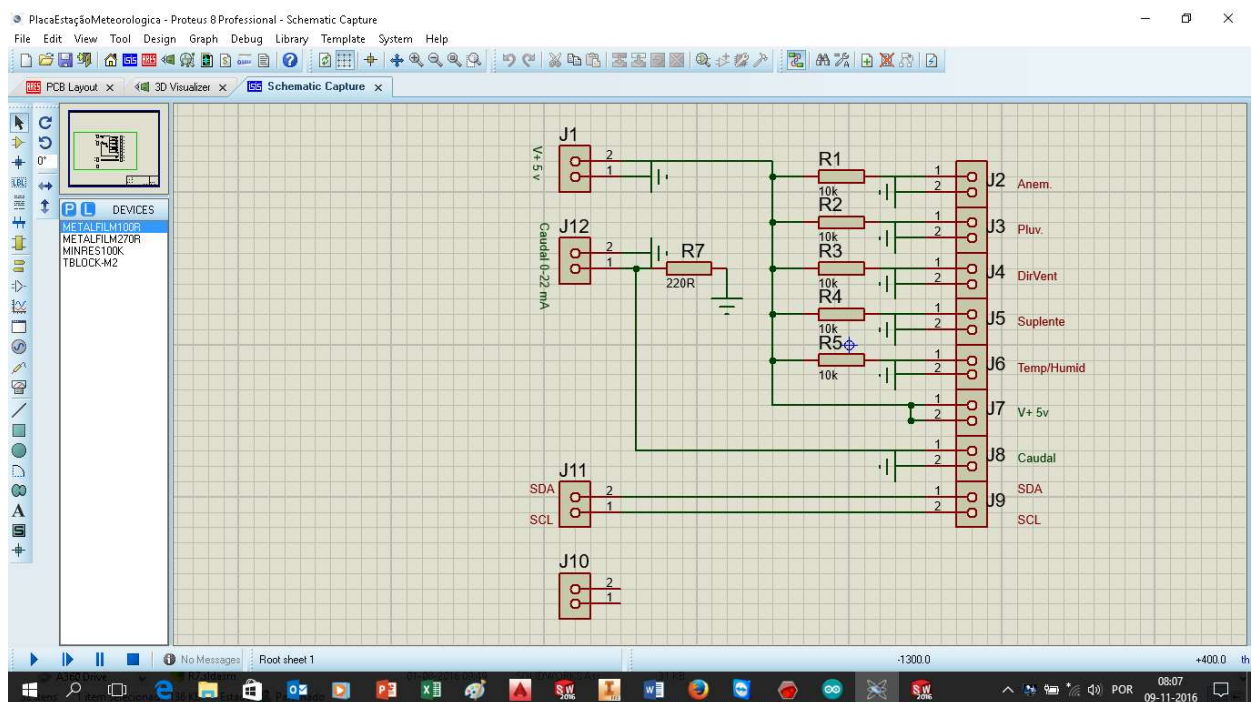


Figura 13: Esquema do circuito elétrico da placa

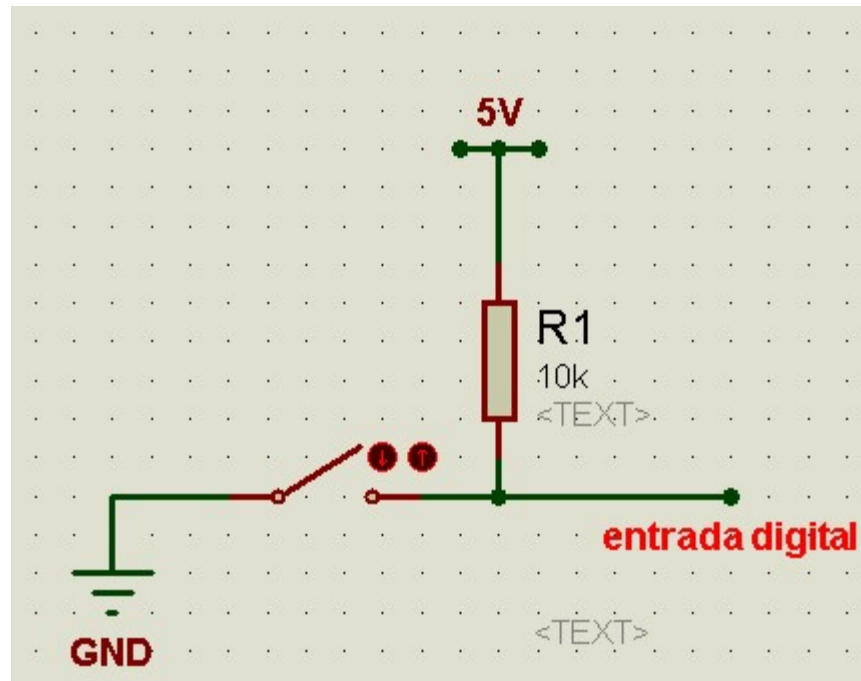


Figura 14: Circuito Pull Up

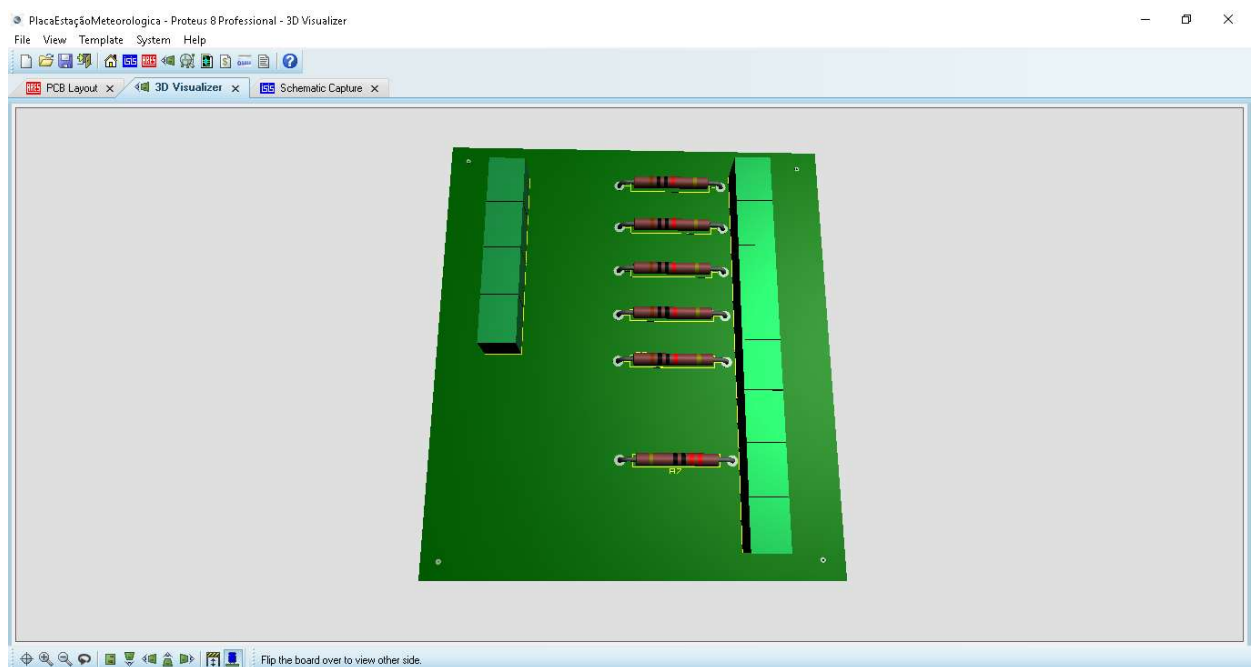


Figura 15: Visualização 3D da placa

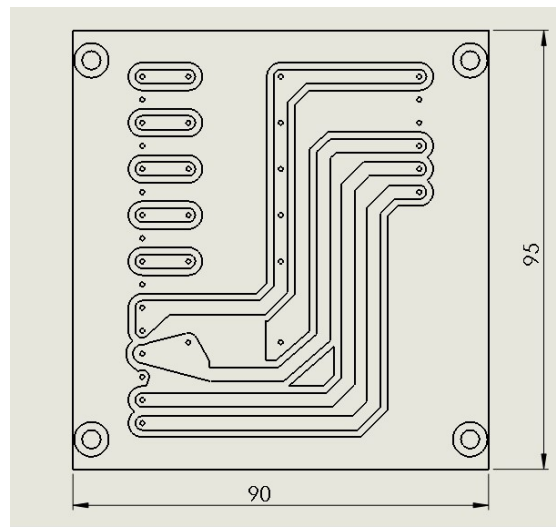


Figura 16: Desenho em CAD das pistas do circuito impresso para maquinação

5. MONTAGEM DO PROTÓTIPO

A montagem do protótipo iniciou-se pela colocação e soldadura de todos os componentes elétricos na placa de circuito impresso.

A próxima etapa foi a conexão de todos os sensores, display e RTC. Seguidamente escolheu-se a fonte de alimentação do sistema, como o Caudalímetro necessita de uma tensão de alimentação entre 18 a 25 volt, optou-se por uma fonte de alimentação de 25volt, mas como o Arduino necessita de uma alimentação entre 5 a 12volt, foi necessário recorrer a um circuito regulador de tensão, no qual a saída pra alimentação para o Arduino foi regulada para 9 volt. A Figura 17 mostra todos os componentes montados em bancada e em ensaio.

5.1. MONTAGEM FINAL DO PROTÓTIPO

6. TESTES E RESULTADOS

Nesta etapa do projeto começou-se por realizar testes a todos os componentes utilizados, verificando os valores lidos e a coerência dos mesmos. Também foi aprimorado o formato dos dados escritos no cartão e display. A última parte desta etapa foi dedicada à página web, realizando pedidos e verificando as respostas do sistema quando solicitado.

7. CONCLUSÃO

O objetivo principal deste projeto foi a construção de uma estação meteorológica capaz de recolher um conjunto de dados meteorológicos (temperatura, humidade, pluviosidade, velocidade, direção e rajadas do vento e água consumida na rega), guardar os dados recolhidos e disponibilizar estes dados ao utilizador, para que em função destes dados possa gerir de forma eficiente a cultura dos kiwis.

Todos os objetivos propostos foram alcançados de forma satisfatória e até superados.

O protótipo da estação foi desenvolvido e construído. Conseguiu-se desenvolver um algoritmo que responde-se a todos os requisitos de forma satisfatória, gerindo eficientemente os (escassos) recursos do microcontrolador Arduino, de forma a garantir um bom funcionamento da estação.

7.1. FUNCIONALIDADES DA ESTAÇÃO IMPLEMENTADAS:

- Recolha de dados em intervalos de 3 segundos
- Gravação no cartão dos dados recolhidos num ficheiro diário em formato AAMMDD.csv em intervalos de 10 segundos
- Atualização automática da Data e Hora inclusive horário Inverno
- Monitorização dos dados em display
- Servidor e página web
- Monitorização dos dados na página web
- Acesso e possibilidade de *download* dos ficheiros gravados do cartão na página web
- Possibilidade de ligar e desligar a rega na página web

De todas as funcionalidades, o principal desafio, foi conseguir implementar de forma eficiente e com um bom desempenho o servidor e página web nos limitados recursos do Arduino.

Esta dificuldade foi superada e a solução implementada apresentou resultados que ultrapassaram as expectativas iniciais, o que permitiu implementar também na página web a possibilidade de efetuar o *download* dos ficheiros de registo e os botões de ligar e desligar a rega.

7.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão de trabalhos futuros, propõe-se a implementação da comunicação entre os módulos de aquisição da temperatura e humidade do solo já em funcionamento (construídos num projeto anterior) com a estação meteorológica. Propõe-se ainda (por motivos de segurança) a

configuração de uma página de autenticação que permita restringir o acesso à plataforma. Evitando-se assim que uma pessoa mal intencionada ative a rega ou elimine os ficheiros existentes no cartão. Como o módulo de segurança não foi implementado também não é disponibilizada a possibilidade de eliminar os dados existentes no cartão. Sendo que este trabalho carece de desenvolvimento em conjunto com outras áreas de engenharia nomeadamente a Engenharia Informática/ Electrotécnica.

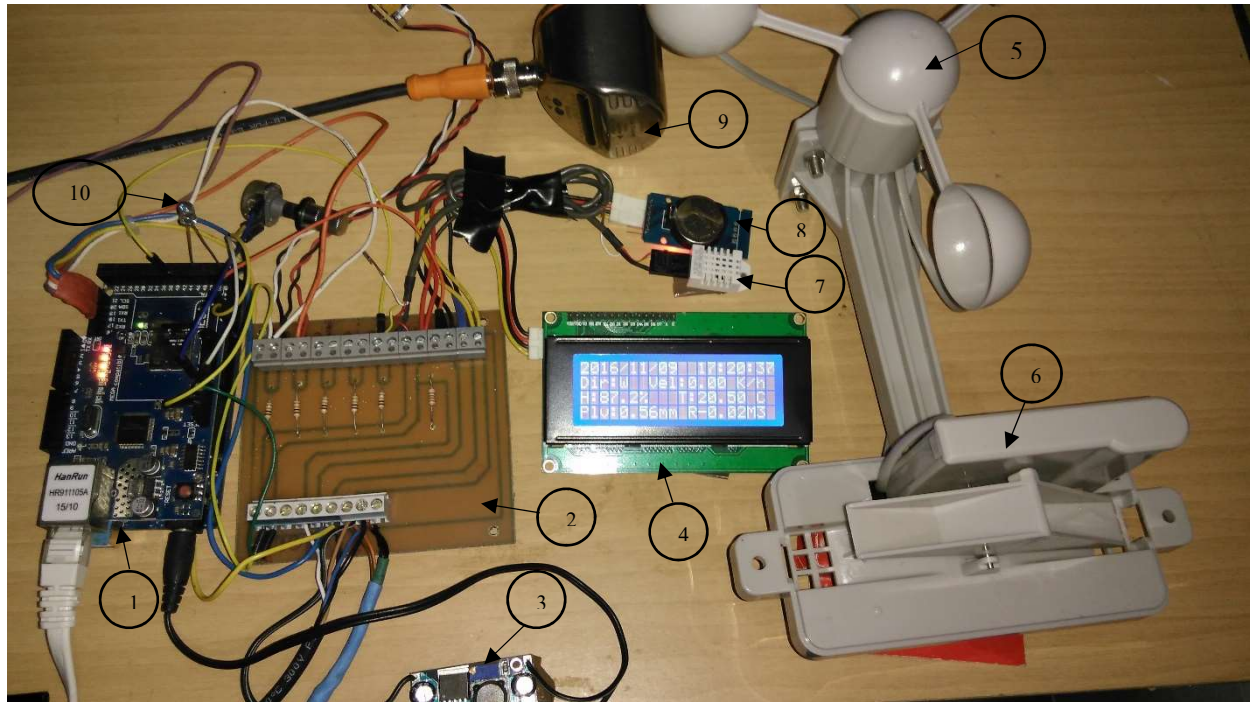


Figura 17: Estação meteorológica em fase de testes, em que 1- Arduino Mega e shield Ethernete, 2- Placa de circuitos, 3- Regulador de tensão, 4-Display, 5-Anemómetro, 6- Pluviómetro, 7- DHT22, 8- RTC, 9- Caudalímetro, 10- led que simula a válvula eléctrica

8. ANEXOS

8.1. ANEXO 1 - SENSOR DE TEMPERATURA E HUMIDADE DHT22

Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd

Tell: +86-020-36380552, +86-020-36042809 Fax: +86-020-36380562

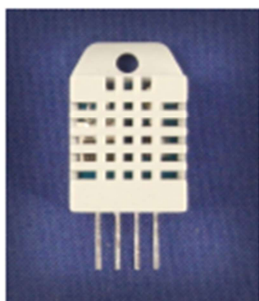
<http://www.aosong.com>

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn sales@aosong.com

Address: No.56, Renhe Road, Renhe Town, Baiyun District, Guangzhou, China

Digital-output relative humidity & temperature sensor/module

AM2303



Capacitive-type humidity and temperature module/sensor

1. Feature & Application:

- * Full range temperature compensated
- * Relative humidity and temperature measurement
- * Calibrated digital signal
- * Outstanding long-term stability
- * Extra components not needed
- * Long transmission distance
- * Low power consumption
- * 4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

AM2303 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable AM2303 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

3. Technical Specification:

Model	AM2303
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer humidity capacitor & DS18B20 for detecting temperature
Measuring range	humidity 0-100%RH; temperature -40~125Celsius

8.2. ANEXO 2 - RTC DS3231

DS3231

Extremely Accurate I²C-Integrated
RTC/TCXO/Crystal

General Description

The DS3231 is a low-cost, extremely accurate I²C real-time clock (RTC) with an integrated temperature-compensated crystal oscillator (TCXO) and crystal. The device incorporates a battery input, and maintains accurate timekeeping when main power to the device is interrupted. The integration of the crystal resonator enhances the long-term accuracy of the device as well as reduces the piece-part count in a manufacturing line. The DS3231 is available in commercial and industrial temperature ranges, and is offered in a 16-pin, 300-mil SO package.

The RTC maintains seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with an AM/PM indicator. Two programmable time-of-day alarms and a programmable square-wave output are provided. Address and data are transferred serially through an I²C bidirectional bus.

A precision temperature-compensated voltage reference and comparator circuit monitors the status of V_{CC} to detect power failures, to provide a reset output, and to automatically switch to the backup supply when necessary. Additionally, the RST pin is monitored as a pushbutton input for generating a µP reset.

Benefits and Features

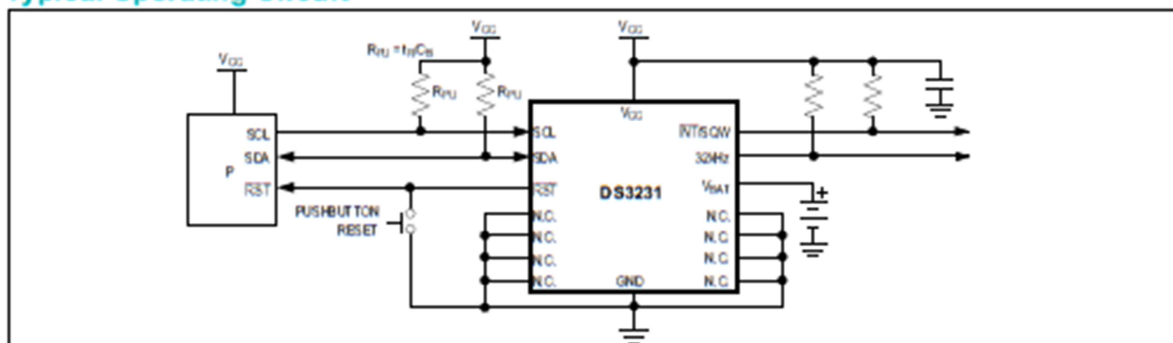
- Highly Accurate RTC Completely Manages All Timekeeping Functions
 - Real-Time Clock Counts Seconds, Minutes, Hours, Date of the Month, Month, Day of the Week, and Year, with Leap-Year Compensation Valid Up to 2100
 - Accuracy $\pm 2\text{ppm}$ from 0°C to +40°C
 - Accuracy $\pm 3.5\text{ppm}$ from -40°C to +85°C
 - Digital Temp Sensor Output: $\pm 3^\circ\text{C}$ Accuracy
 - Register for Aging Trim
 - RST Output/Pushbutton Reset Debounce Input
 - Two Time-of-Day Alarms
 - Programmable Square-Wave Output Signal
- Simple Serial Interface Connects to Most Microcontrollers
 - Fast (400kHz) I²C Interface
- Battery-Backup Input for Continuous Timekeeping
 - Low Power Operation Extends Battery-Backup Run Time
 - 3.3V Operation
- Operating Temperature Ranges: Commercial (0°C to +70°C) and Industrial (-40°C to +85°C)
- Underwriters Laboratories® (UL) Recognized

Applications

- Servers
- Telematics
- Utility Power Meters
- GPS

Ordering Information and Pin Configuration appear at end of data sheet.

Typical Operating Circuit



Underwriters Laboratories is a registered certification mark of Underwriters Laboratories Inc.

8.3. ANEXO 3 - CÓDIGO MAQUINAÇÃO DA PLACA

%	N580 X27.75	N960 G01 Z-5.
O0001 (placa)	N590 G00 Z3.	N970 Z3.
N10 G54 G90 G21 G94 G98 G40	N600 X15. Y42.75	N980 G00 X45. Y27.5
N20 T1 M06 (fresa 0,8mm)	N610 G01 Z-0.2	N990 G01 Z-5.
N21 M03 S800	N620 G02 X15. Y47.25 R2.25	N1000 Z3.
N30 G00 X0 Y0 Z3.	N630 G01 X25. Y47.25	G00 Z50.
N35 G41	N640 G02 X25. Y42.75 R2.25	M30
N40 G00 Z1.	N650 G01 X15. Y42.75	%
N50 G01 Z-0.2 F200.	N660 G00 Z3.	(Subprogramas Furação)
N60 G01 Y95.	N670 G55 (G54+ 10mmemY)	O0002 (Placa sub1)
N70 X90.	N675 X15. Y42.75	G91
N80 Y0	N680 G01 Z-0.2	G01 Z-5.
N90 X0	N690 G02 X15. Y47.25 R2.25	Z5.
N100 G00 Z3.	N700 G01 X25. Y47.25	G00 X0 Y5.
N110 G40	N710 G02 X25. Y42.75 R2.25	M99
N120 G00 X15. Y7.75	N720 G01 X15. Y42.75	
N130 G01 Z-0.2	N730 G00 Z3.	O0003 (Placa sub2)
N140 G01 X62.	N740 G56 (G54+20mmemY)	G91
N150 X67.5 Y13.	N745 X15. Y42.75	G01 Z-5.
N160 Y55.	N750 G01 Z-0.2	G01 Z5.
N170 X75. Y57.75	N760 G02 X15. Y47.25 R2.25	G00 X20.
N180 G03 X75. Y62.25 R2.25	N770 G01 X25. Y47.25	G01 Z-5.
N190 G01 X66. Y62.2	N780 G02 X25. Y42.75 R2.25	G01 Z5.
N200 X62.5 Y59.	N790 G01 X15. Y42.75	G00 X-20.
N210 Y17.	N800 G00 Z3.	G00 X0 Y10.
N220 X58. Y12.25	N810 G57 (G54+30mmemY)	M99
N230 X15.	N815 X15. Y42.75	
N240 G03 X15. Y7.75 R2.25	N820 G01 Z-0.2	O0004 (Placa sub3)
N250 G00 Z3.	N830 G02 X15. Y47.25 R2.25	G91
N260 X15. Y27.75	N840 G01 X25. Y47.25	G01 Z-5.
N270 G01 Z-0.2	N850 G02 X25. Y42.75 R2.25	Z5.
N280 G03 X13.77 Y22.54 R2.75	N860 G01 X15. Y42.75	G00 X0 Y5.
N290 G01 X23.4 Y17.8	N870 G00 Z3.	M99
N300 X53.	N880 G58 (G54+40mmemY)	
N310 X56.4 Y21.	N885 X15. Y42.75	
N320 Y64.	N890 G01 Z-0.2	
N330 X60. Y67.75	N900 G02 X15. Y47.25 R2.25	
N340 X75.	N910 G01 X25. Y47.25	
N350 G03 X75. Y72.25 R2.25	N920 G02 X25. Y42.75 R2.25	
N360 G01 X55.21 Y72.25	N930 G01 X15. Y42.75	
N370 X51.89 Y68.93	N940 G00 Z3.	
N380 Y22.93	N950 G54 (zero peca inicial)	
N390 X51. Y22.	N960 G00 X9.5 Y91.	
N400 X27.79	N970 G01 Z-0.2	
N410 Y32.75	N980 X80.5 Y91.	
N420 X41.93	N990 Y4.	
N430 X47.25 Y38.	N1000 X9.5	
N440 Y79.2	N1010 Y91.	
N450 X50.81 Y82.75	N1020 G00 Z3.	
N460 X75.	N1030 X15.Y10.	
N470 G03 X75. Y87.25 R2.25	N1040 M98 P0002 L16	
N480 G01 X45. Y87.25	G90	
N490 G03 X42.75 Y85. R2.25	N30 G00 X25. Y45. Z3.	
N500 G01 X42.75 Y39.93	M98 P0003 L5	
N510 X40. Y37.25	G90	
N520 X15.	N30 G00 X75. Y60. Z3.	
N530 G03 X12.75 Y35. R2.25	M98 P0004 L6	
N540 G01 X12.75 Y30.	G90	
N560 G03 X16.53 Y28.35 R2.25	N940 G00 Z3.	
N570 G01 X21.26 Y32.75	N950 X25. Y27.5	

8.4. ANEXO 4 CONJUNTO (PLUVIÓMETRO, ANEMÓMETRO, CATA-VENTO)



Weather Sensor Assembly p/n 80422

Imported by Argent Data Systems

Usage Notes

This kit includes a wind vane, cup anemometer, and tipping bucket rain gauge, with associated mounting hardware. These sensors contain no active electronics, instead using sealed magnetic reed switches and magnets to take measurements. A voltage must be supplied to each instrument to produce an output.

Assembly

The wind sensor arm mounts on top of the two-piece metal mast and supports the wind vane and anemometer. A short cable connects the two wind sensors. Plastic clips on the underside of the arm hold this cable in place. Screws are provided to secure the sensors to the arm.

The rain gauge may be mounted lower on the mast using its own mounting arm and screw, or it may be mounted independently.

Rain Gauge

The rain gauge is a self-emptying tipping bucket type. Each 0.011" (0.2794 mm) of rain causes one momentary contact closure that can be recorded with a digital counter or microcontroller interrupt input. The gauge's switch is connected to the two center conductors of the attached RJ11-terminated cable.

Anemometer

The cup-type anemometer measures wind speed by closing a contact as a magnet moves past a switch. A wind speed of 1.492 MPH (2.4 km/h) causes the switch to close once per second.

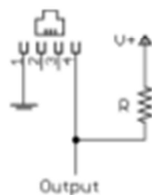
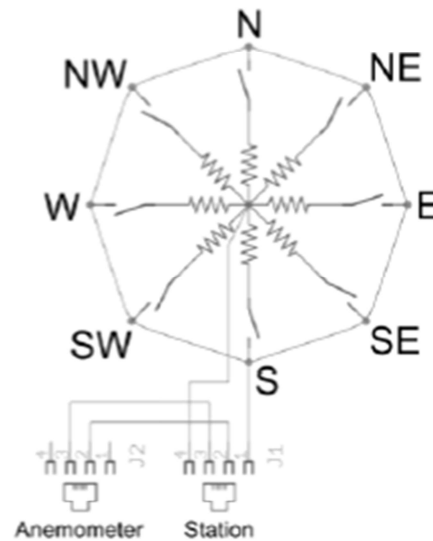
The anemometer switch is connected to the inner two conductors of the RJ11 cable shared by the anemometer and wind vane (pins 2 and 3.)

Wind Vane

The wind vane is the most complicated of the three sensors. It has eight switches, each connected to a different resistor. The vane's magnet may close two switches at once, allowing up to 16 different positions to be indicated. An external resistor can be used to form a voltage divider, producing a voltage output that can be measured with an analog to digital converter, as shown below.

The switch and resistor arrangement is shown in the diagram to the right. Resistance values for all 16 possible positions are given in the table.

Resistance values for positions between those shown in the diagram are the result of two adjacent resistors connected in parallel when the vane's magnet activates two switches simultaneously.



Example wind vane interface circuit. Voltage readings for a 5 volt supply and a resistor value of 10k ohms are given in the table.

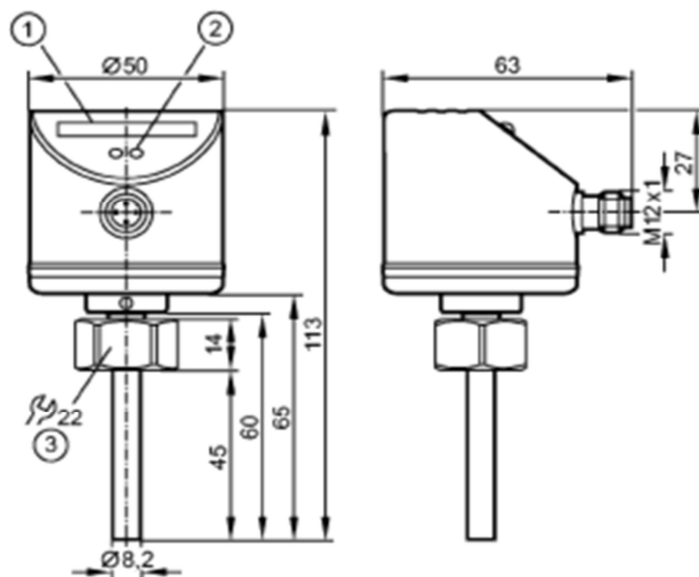
Direction (Degrees)	Resistance (Ohms)	Voltage (V=5v, R=10k)
0	33k	3.84v
22.5	6.57k	1.98v
45	8.2k	2.25v
67.5	891	0.41v
90	1k	0.45v
112.5	688	0.32v
135	2.2k	0.90v
157.5	1.41k	0.62v
180	3.9k	1.40v
202.5	3.14k	1.19v
225	16k	3.08v
247.5	14.12k	2.93v
270	120k	4.62v
292.5	42.12k	4.04v
315	64.9k	4.78v
337.5	21.88k	3.43v

8.5. ANEXO 5 SENSOR DE CAUDAL SI5004

efector 300**SI5004**

SID10ADB10OG/

Sensores de fluxo



- 1: Display do LED
 2: pushbutton de ajuste
 3: torque de aperto 25 Nm

**Características do produto**

Transdutor de fluxos

forma construtiva compacta para adaptador

Conexão de processo: rosca interna M18 x 1,5 para adaptador

saída analógica

Alcance de ajuste: 3...300 cm/s (fluidos líquidos)

Aplicações

Campo de aplicação meios líquidos

Resistência à pressão [bar]

300

Temperatura do fluido [°C]

-25...80

Dados elétricos

Função elétrica

DC

Tensão de operação [V]

19...36 DC

Consumo de corrente [mA]

< 60

Classe de proteção

III

Proteção contra inversão de polaridade

sim


Saídas

Saída

4...20 mA analógico

Proteção contra sobrecarga

sim

saída analógica	4...20 mA, max. 22 mA	
Carga máx. [Ω]	500	
Faixa de medição / de ajuste		
Fluidos líquidos		
Alcance de ajuste [cm/s]	3...300	
Sensibilidade máxima [cm/s]	3...100	
Meios gasosos		
Alcance de ajuste [cm/s]	-	
precisão / desvios		
Repetibilidade [% de Sr]	1...5 *)	
Precisão [% do valor final]	$\pm 2... \pm 10$ cm/s *)	
Tempos de reação		
Retardo de prontidão [s]	10	
Tempo de resposta [s]	1...10	
condições ambientais		
MAWP (bei Applikationen gemäß CRN) [bar]	208	
Temperatura ambiente [°C]	-25...80	
Temperatura de armazenamento [°C]	-25...100	
proteção	IP 67	
Certificações / testes		
CEM	DIN EN 61000-6-2 DIN EN 61000-6-3	
Resistência a choques	DIN EN 60068-2-27	50 g (11 ms)
resistência à vibrações	DIN EN 60068-2-6	20 g (55...2000 Hz)
MTTF [anos]	259	
Dados mecânicos		
Conexão de processo	rosca interna M18 x 1,5 para adaptador	
Materiais em contato com o fluido	inox (1.4404 / 316L); anel O: FKM 8 x 1,5 gr 80° Shore A	
Material da carcaça	inox (1.4404 / 316L); inox (1.4301 / 304); PC; PBT-GF 20; EPDM/X	
Peso [kg]	0,234	
Displays / elementos de operação		
Display de funções LED	10 LEDs, três cores	
conexão elétrica		
Conexão	Conexão M12	
Fiação		
		
Notas		
Notas	*) para água; 5...100 cm/s; 25°C (ajuste de fábrica) **) para água; 5...100 cm/s; 10...70°C	

9. BIBLIOGRAFIA/ WEBGRAFIA

- [1] António Roberto Pereira, Luiz Roberto Angelocci, Paulo Cesar Sentelhas - **METEOROLOGIA AGRÍCOLA** - Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Departamento de Ciências Exatas Piracicaba, SP Fevereiro de 2007
- [2] Jaime Carlos do Vale, Ferreira da Silva – **Meteorologia**
- [3] Capítulo 1 do livro “**Agrometeorologia dos Cultivos – O Fator Meteorológico na Produção Agrícola**”. INMET, 2009.
- [4] <http://vidaeagua.webnode.pt/>
- [5] Nuno Pessanha Santos - ASPOF EN-AEL - **Escola Naval - Marinha. (2009) [Online].**
http://www.novaims.unl.pt/docentes/vlobo/escola_naval/MFC/Tutorial%20Arduino.pdf
- [6] <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoEthernetShield>
- [7] <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>
- [8] Governo de Portugal - Programa de Desenvolvimento Rural do Continente para 2014-2020